Physique atomique et nucléaire

Couche électronique

Expérience de Franck-Hertz

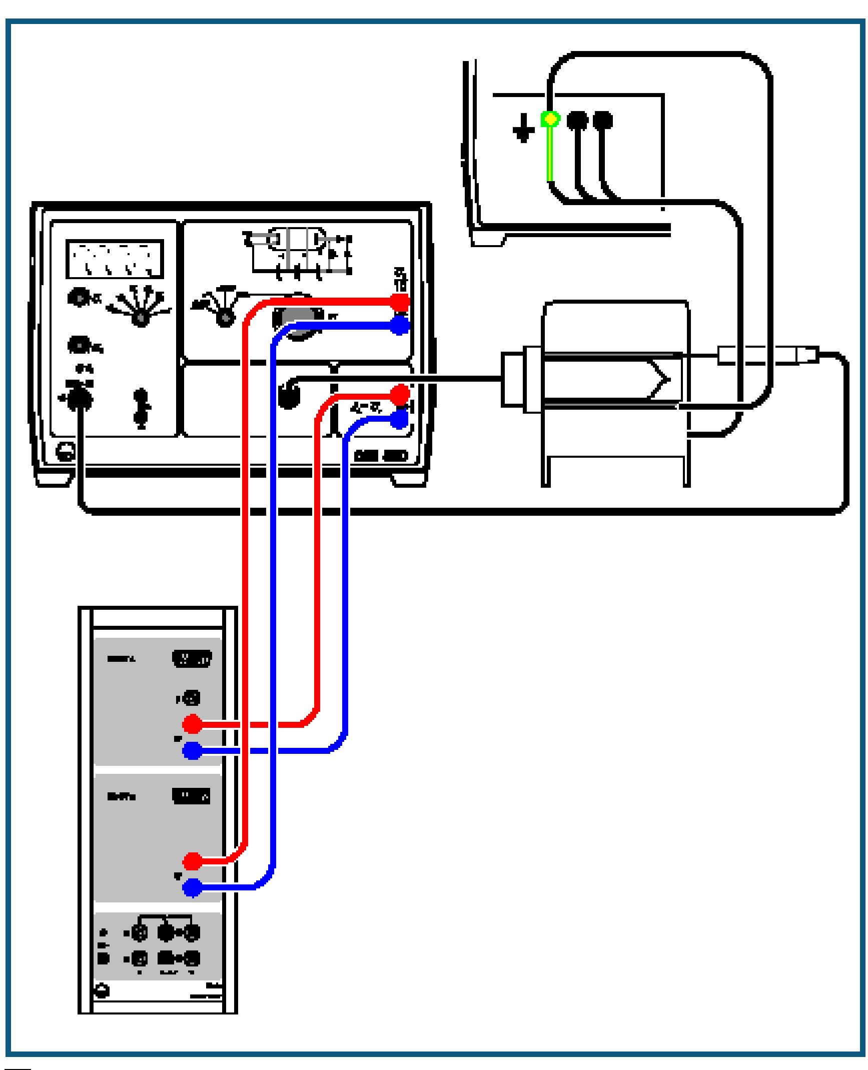
Expérience de Franck-Hertz avec le mercure - Tracé et évaluation avec CASSY

Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des paramétrages, merci de bien vouloir utiliser l'aide de CASSY Lab 2.



Expérience de Franck et Hertz avec le mercure



Convient aussi pour Pocket-CASSY

Description de l'expérience

En 1914, James Franck et Gustav Hertz ont fait un compte-rendu sur la perte d'énergie progressive suscitée au passage des électrons dans de la vapeur de mercure et sur l'émission de la raie ultraviolette (λ = 254 nm) du mercure qui lui est subordonnée. Quelques mois plus tard, Niels Bohr a reconnu dans cette étude une preuve pour le modèle atomique développé par lui-même. L'expérience de Franck et Hertz est donc une expérience classique pour la vérification de la théorie des quanta.

Dans l'expérience, on augmente la tension d'accélération U_2 de 0 V à 30 V pour une tension d'aspiration U_1 fixe et une tension inverse U_3 puis on mesure le courant du collecteur I_A. Dans un premier temps, il augmente un peu comme dans le cas d'une tétrode classique mais il atteint un maximum lorsque l'énergie cinétique des électrons suffit tout juste devant la grille G_2 pour délivrer par collision l'énergie requise pour l'excitation d'un atome de mercure (E_{Hg} = 4,9 eV). Le courant du collecteur baisse nettement étant donné que les électrons ne peuvent plus surmonter la tension inverse U_3 après le choc.

Au fur et à mesure que la tension d'accélération U_2 augmente, les électrons atteignent l'énergie nécessaire à l'excitation des atomes de mercure toujours plus loin devant la grille G_2. Après le choc, ils sont réaccélérés et absorbent à nouveau tellement d'énergie du champ électrique pour une tension d'accélération suffisante qu'ils peuvent exciter un atome de mercure. Il s'ensuit un deuxième maximum et pour une tension U_2 encore plus grande, d'autres maxima du courant du collecteur I_A.

Matériel requis

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013

1	CASSY Lab 2	524 220
1	tube de Franck-Hertz au mercure	555 854
1	douille de raccordement pour le tube de Franck-Hertz au mercure	555 864
1	four électrique, 230 V	555 81
1	alimentation pour tube de Franck-Hertz	555 880
1	sonde de température NiCr-Ni	666 193
2	paires de câbles, 100 cm, rouges et bleus	501 46
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Montage expérimental (voir schéma)

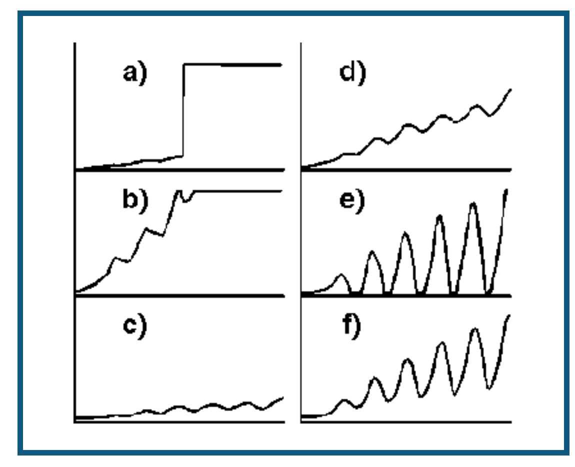
- Laisser l'alimentation hors service.
- Brancher le four au dos de l'alimentation par le biais des douilles de sécurité de 4 mm. Veiller notamment à ce que la fiche jaune-verte soit connectée à la douille de sécurité jaune-verte (mise à la terre).
- Egalement raccorder le fil de cuivre du tube en cuivre avec fiche de 4 mm à la douille de sécurité jaune-verte (blindage du tube de Franck-Hertz contre les champs perturbateurs).
- Brancher la sonde de température à la douille DIN « NiCr-Ni » et le tube de Franck-Hertz à la douille DIN « Tube de Franck-Hertz » de l'alimentation.
- Introduire la sonde de température dans le perçage du four prévu à cet effet jusqu'au fond du trou borgne du tube en cuivre puis placer le tube de Franck-Hertz avec le tube en cuivre dans le four.
  Remarque : en cas de mauvais contact thermique de la sonde de température, la température du four mesurée sera trop faible et le tube trop chauffé.
- Régler le sélecteur du mode de service sur RESET et mettre l'alimentation en marche (au bout de quelques secondes, le témoin lumineux (LED) pour le mercure passe du vert au rouge).
- Vérifier le préréglage ϑ_S = 180 °C et attendre que la température de service soit atteinte (le témoin lumineux passe du rouge au vert, la température ϑ atteint d'abord un maximum et baisse ensuite jusqu'à la valeur finale).

Si l'affichage clignote :

- Corriger l'erreur de montage relative à la mesure de la température (voir mode d'emploi).
- Connecter l'entrée de tension A du Sensor-CASSY à la sortie U_A pour la tension proportionnelle au courant du collecteur et l'entrée de tension B du Sensor-CASSY à la sortie U_2/10 pour la tension d'accélération.

Procédure expérimentale

- Charger les paramétrages
- Régler la tension d'aspiration U_1 = 1,5 V et la tension inverse U_3 = 1,5 V puis tracer la courbe de Franck-Hertz dans le mode de service « Rampe ». Pour ce faire, lancer la mesure avec ⏱ et immédiatement régler le sélecteur du mode de service sur « Rampe ». La mesure s'arrête automatiquement au bout de 15 s, ensuite, ramener le sélecteur du mode de service sur RESET.



1) Optimisation de ϑ

Si la courbe de Franck-Hertz augmente brusquement (a) et que l'on observe à travers le trou du four une décharge de gaz à l'aspect d'une luminescence bleue dans le tube de Franck-Hertz :

- immédiatement régler le sélecteur du mode de service sur RESET et attendre que la température de service soit atteinte.

- éventuellement augmenter la valeur de consigne ϑ_S à l'aide du potentiomètre à fente tournevis (par ex. de 5 °C) puis attendre quelques minutes jusqu'à l'établissement du nouvel équilibre thermique.

2) Optimisation de U_1

Une tension d'aspiration U_1 plus élevée se traduit par un plus grand courant d'émission des électrons.

Si la courbe de Franck-Hertz monte en pente trop raide, donc si déjà en dessous de U_2 = 30 V la puissance limite admissible de l'amplificateur de mesure du courant est atteinte et que la courbe de Franck-Hertz est coupée en haut (b) :

- réduire U_1 jusqu'à ce que la pente de la courbe corresponde à (d).

Si la courbe de Franck-Hertz est trop aplatie et donc que le courant du collecteur I_A reste partout inférieur à 5 nA (c) :

- augmenter U_1 jusqu'à ce que la pente de la courbe corresponde à (d).

Si la courbe de Franck-Hertz reste trop aplatie malgré l'augmentation de U_1 :

- réduire la valeur de consigne ϑ_S pour la température du four à l'aide du potentiomètre à fente tournevis.

3) Optimisation de U_3

Plus la tension inverse U_3 est élevée, plus les maxima et minima de la courbe de Franck-Hertz sont prononcés, le courant du collecteur étant, dans l'ensemble, simultanément réduit.

Si les maxima et minima de la courbe Franck-Hertz ne sont pas très prononcés (d) :

- augmenter tour à tour d'abord la tension inverse U_3 puis la tension d'aspiration U_1 jusqu'à obtention de la forme de courbe représentée en (f).

Si les minima de la courbe de Franck-Hertz sont « coupés » à la base (e) :

- réduire tour à tour d'abord la tension inverse U_3 puis la tension d'aspiration U_1 jusqu'à obtention de la forme de courbe représentée en (f).

Le tube de Franck-Hertz au mercure de l'exemple d'expérience a été utilisé avec les paramètres U_1 = 2,58 V, U_3 = 1,95 V et ϑ_S = 180 °C.

Exploitation

On prélève l'écartement de maxima qui se succèdent de la courbe tracée en traçant des lignes verticales ou des valeurs principales des pics. Dans le présent exemple d'expérience, on a en moyenne la valeur U_2 = 5,07 V, ce qui correspond à un transfert d'énergie ΔE = 5,07 eV.

La valeur littéraire pour l'énergie de transition des atomes de mercure de l'état fondamental 1S0 au premier état 3P1 est E_{Hg} = 4,9 eV.

La position du premier maximum est déterminée par le potentiel de contact des matériaux des électrodes utilisés et la tension d'aspiration U_1. Le plus grand écartement des maxima du premier ordre est dû à la superposition de la courbe de Franck-Hertz avec la caractéristique du tube.

